

低速陽電子輝度増強技術と応用 Brightness Enhancement for a Positron Microprobe and Its Applications

藤浪真紀
M. Fujinami

Dept. of Applied Chemistry & Biotechnology, Chiba University, Yayoi, Inage, Chiba 263-8522, Japan

*e-mail: fujinami(at)faculty.chiba-u.jp

Brightness enhancement is an essential technique for a formation of a positron microprobe. We have installed the positron microprobe and constructed a transmission positron microscope at KEK. In this talk, the strategy and the performance are given. Further, the idea on the positron optics for low energy positron diffraction is discussed.

加速器を利用して陽電子を発生すると 10^6 e⁺/s と高強度ではあるが、そのビーム径は数十 mm となる。したがって、その有効利用のためには輝度増強は必須である。“輝度増強”とは、径を小さくしつつ発散角を小さくするという輝度保存則を克服することである。これは陽電子がいくつかの物質に対して負の仕事関数をもつという特有の性質に由来する。表面近傍 100 nm 付近で熱化した陽電子は、仕事関数の絶対値（半値幅は熱エネルギー程度）で法線方向に自発的に再放出される。本発表では、数年前に KEK の低速陽電子実験施設に設置した輝度増強光学系とそれを利用した透過型陽電子顕微鏡(Positron transmission microscope, TPM)の成果を報告する。さらに、低速陽電子線回折(Low energy positron diffraction, LEPD)のための光学系を提案する。

KEK の陽電子ビームは最高で 35 keV のエネルギーで静磁場中を約 25 mm のビーム径で輸送される。マイクロビーム化には輸送用静磁場から陽電子を切り離し、輝度増強用再減速材に照射し、放出した陽電子を静電場輸送に変換する必要がある。輝度増強には 150 nm 厚の Ni(100)単結晶を用いて、透過型再減速材方式を採用した。それにより光学系の単純化、開発期間の短縮、コスト低減が図られた[1]。

磁場からの陽電子ビームを引き出す際、焦点位置を透過型再減速材 Ni 薄膜とする磁界レンズを利用する。これにより引き出しと集束を同時に達成できる。磁場を打ち消すために、輸送用ヘルムホルツコイルにおいて最終のヘルムホルツコイルでは逆方向の磁場を発生するようにする。これは磁界レンズの集束条件を最適化する効果もあり、35 keV で輸送された陽電子ビームを 1/10 の 3 mm 程度に集

束し、磁場フリー領域に取り出すことができた。

透過型再減速材利用に必須の条件は、欠陥や不純物を除去するための高温アニールと表面の清浄化である。そこで、いったん高温でアニールし、その後ビームラインの真空装置内で原子状水素処理を行った。膜厚が 150 nm であると、陽電子の入射エネルギーや拡散距離を考慮すると、5 keV 程度の入射が適当である。予備実験の結果では、当初の効率は 15% で、数日で約 10% まで低下したが、その後は低下はせず安定していた。陽電子は 35 keV 輸送されるので、再減速材 Ni 薄膜を 30 keV に印加した。

再減速材から垂直方向に再放出された陽電子は、引出電極、集束電極、加速電極から構成された静電レンズで静電輸送される。集束電極電位を調整することにより 30 keV TPM のクロスオーバー位置にコリメートビームで入射される。本装置では、電子銃も 90° 方向に取り付けられ、磁気プリズムを用いて同一のクロスオーバー位置を形成でき、透過陽電子像と電子像を比較できるようにした。両者の透過像や回折パターンは MCP により検出した。平成 20 年当時の KEK 低速陽電子実験施設のビーム強度において 10 時間かけて 10,000 倍の透過像、1 時間程度で回折パターンが取得できた。電子像との比較を試みたが、その程度の倍率では明瞭な差は観察されなかった。一方、透過率については散乱方向の違いによると考えられる有意な差が認められた[2]。

LEPD の開発は、この TPM の静電ビームを初期ビームとしてもう一段輝度増強を行い、LEPD の入射ビームとする。LEPD 像や優位性の一部は Canter らにより実証されている[3]が、この高強度化された KEK の低速陽電子実験装置によりさらなる具現化に資する。

References (参考文献)

- [1] M. Fujinami et al.: *Anal. Sci.* **24**, 73-79 (2008).
- [2] M. Matsuya et al.: *Nucl. Instrum. Methods A* **645**, 102-112 (2011).
- [3] G. R. Brandes et al.: *Rev. Sci. Instrum.* **59**, 228-235 (1988).